

荷兰物理学家塞曼 (Pieter Zeeman, 1865—1943) 由于发现光谱的磁致分裂现象, 与洛伦兹 (H. A. Lorentz, 1853—1928) 共获 1902 年诺贝尔物理学奖。

塞曼坚持研究磁光效应是由于受到了法拉第的启示, 因此我们首先介绍一下法拉第的工作。

一、法拉第效应的发现

大家都知道, 法拉第是一位伟大的实验物理学家, 他的一生对人类作了许多贡献, 最重要的应该是电磁感应现象的发现。他本着自然力的统一性这一信念, 坚持探索电与磁的联系, 经过十年的反复试验, 终于在 1831 年发现了一系列电磁感应现象, 并且进一步总结得出了这些现象的基本规律。

根据同一信念, 他还对光与电、磁之间的联系进行过许多探索。从 1822 年起, 历经 20 余年, 在 1845 年发现了磁致旋光效应。他先将偏振光穿过通电溶液或在光学材料上加电压, 观察偏振光通过时所受影响, 他用了许多不同材料, 让光线沿不同方向, 使电流取不同形式, 但都未获任何效果。

1845 年 9 月 13 日, 法拉第忽然改变了主意, 他转向探讨磁与光的联系。法拉第把一束偏振光顺着磁力线方向穿过置于强磁场中的硼酸铅玻璃时, 他发现光的偏振面转了一个角度, 磁力越强, 旋转的角度也越大。他在日记中写道:

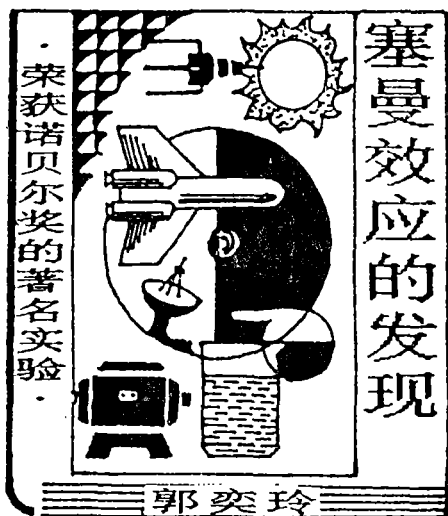
“我用一块 2 英寸长、1.8 英寸宽、0.5 英寸厚的重玻璃 (即硼酸铅玻璃), 将其两短边磨光来做实验。当同名磁极或异名磁极放在两边或者同名磁极放在同一边时, 无论用不变的电流或是用间断的电流, 都不产生什么影响。而当异名的磁极放在同一边时, 它们对偏振光就产生了影响, 这证明磁力和光彼此是有联系的。在研究自然力的这两方面时, 这个事实也许是最有意义最有价值的了。”

接着法拉第又于 1846 年用螺线管代替磁铁, 他把一根玻璃棒插入通电的螺线管, 让一束偏振光通过玻璃棒。结果, 偏振面发生旋转, 不论偏振光从哪一头进入玻璃棒, 偏振面旋转的方向总与电流的方向相同。这跟晶体的旋光性有明显不同, 晶体使偏振面旋转的方向是确定的, 决定于晶体的结构, 与电流的方向无关。

法拉第把磁体引起的偏振面旋转形象地比喻为“使光束磁化”, 把通电磁线管引起的偏振面旋转比喻为“使光束电化”, 并且生动地把偏振光的旋转想象成“照亮了磁力线”。

坚定的信念、执着的追求、顽强的毅力终于使法拉第获得了成功。关于这一发现, 法拉第自己后来 (1855 年) 作了如下说明:

“我长期持有这一观点, 几乎达到信仰的程度, 一般来说和许多别的自然知识爱好者一样: 物质的作用力虽然形式不同, 却有共同的渊源。……这一强烈的信念拓展到了光力, 致使我过去作出多次努力, 企图发现光和电的直接联系, 以及在它们共同起作用的物体中它们之间的相互作用, 但是结果都是负的……这些无效的努力, 以及许多其它从未发表的尝试,



并没有动摇我从哲学见解引出来的强烈信念, 所以近来我又以最严密和探索的方式, 恢复了实验研究, 终于成功地使光束磁化和电化, 并且照亮了磁力线。”

磁致旋光效应后来就叫做法拉第效应。正如法拉第所说的, 这一效应对研究光、磁之间的联系是最有价值的了。然而, 法拉第并没有到此止步, 他在晚年还多次向磁光效应进攻。

1862 年, 法拉第在他的日记中记下了最后的一批实验 (他坚持记科学日记已经 40 多年了, 从 1820 年到 1862 年, 从不间断。这些日记直到 1932—1936 年才整理发表, 共 7 大卷, 是一部有历史价

值的科学文献)。他做的最后一批实验就是观察磁场对光谱的影响。

1875 年, 美国物理学家克尔 (John Kerr) 在法拉第思想的激励下, 注意到玻璃片在强电场下对光有双折射作用, 次年又发现平面偏振光经电磁铁的磁极反射后, 变成了椭圆偏振光, 这就是著名的克尔电光效应和克尔磁光效应。

法拉第效应和克尔效应引起了许多物理学家的兴趣, 因为这样一些现象很能说明光的电磁性质。19 世纪末, 研究电、磁和光之间的相互作用竟成了一个热门。

就在这个年代里, 塞曼开始了科学生涯。他于 1885 年进入荷兰的莱顿大学, 后留校任洛伦兹的助教。塞曼对麦克斯韦的电磁理论很熟悉, 实验技术也很精湛。1892 年曾因仔细测量克尔磁光效应而获金质奖章, 1893 年获博士学位。

1895 年前后, 塞曼放下克尔效应的研究, 想试一试磁场对钠焰的光谱有没有影响。但是几经反复, 都没有成功。两年前他从麦克斯韦纪念法拉第的文章中读到过一段话, 了解到对磁和光之间的联系所作的实验成了法拉第最后的工作。塞曼想法拉第这样伟大的物理学家都认为有可能找到磁与光谱的联系, 一定值得再去作些尝试, 于是他就坚持作了下去。

二、塞曼效应的发现

塞曼认为法拉第之所以没有成功, 可能是因为仪器不够完善, 现在已经有了很精密的光谱仪和很强大的电磁铁, 应该有可能实现法拉第的思想。于是他就运用了当时分辨本领最高的光谱仪——美国物理学家罗兰发明的凹面光栅和鲁姆科夫制造的电磁铁; 在电磁铁的磁极间燃烧氢氧焰, 将石棉条沾上食盐, 放在火焰中, 用光谱仪观察, 可以看到钠的两根黄色的特征谱线 D_1 (5896 埃) 和 D_2 (5890 埃)。

他一边观察光谱, 一边给电磁铁通电, 当电路接通时, 他注意到两根 D 线都明显地变宽。如果切断电流, 光谱则恢复原状。变宽现象的出现和消失都是瞬时的。

塞曼确证了这个现象以后, 就想进一步去解释它。在各种理论中, 他选择了洛伦兹的电磁理论。这一理论认为: 一切物体都有带电的小分子单元; 一切电学过程都来自这些“离子”的平衡和运动, 光波就是“离子”的振动引起的。而“离子”在磁场中直接受到的作用力足以对这一现象作出解释。

《物理学基础知识丛书》选读系列出版

——现代物理知识精粹集锦

1978年,中国物理学会和科学出版社共同组织了一套《物理学基础知识丛书》,读者对象是科技工作者、中学物理教师和理工科大学生;其内容是以物理学基础知识为基础,系统介绍现代物理学的进展。它是一种高级科普读物,其撰稿宗旨是不用高深数字,而能伸展到最前沿的课题,要阐述历史,不能枯燥无味,篇幅也不能太长。

十多年间,许多著名物理学家为这套书付出了辛勤劳动,丛书出版了双册,物理学崭新的篇章呈现在读者面前:

爱因斯坦解决了牛顿理论中的许多困难;现在,人们又是怎样解决爱因斯坦留下的困难,并发展爱因斯坦理论的呢?

相变和临界现象这个物理学中充满难题和意外发现的领域,100多年来以其扑朔迷离吸引了众多科学家为之之前扑后继,立下多少丰碑?

现代信息光学的发展带来的广泛应用,将人们带入了怎样的神话世界?

以隐晦曲折、难懂、难讲称著的“熵”,其物理内涵和精髓何在?

50年代发展起来的环境声学,为何对现代科学产生了如此巨大的影响?

……一套构思新颖、各具特色的丛书受到海内外物理学家的欢迎。*Physics Today*, *New Scientist* 等著名杂志为丛书中的英译本及时写出了书评。加州大学热斐文学院院长

吴家玮教授(现为香港科技大学校长)忘我地投入了编委会工作。《超导体》的作者带着他的书稿走上电视,向全国电视观众普及超导知识。

1990年,《物理学基础知识丛书》被中国物理学会评为“优秀科普丛书”。1991年,又被列入国家“八五”重点图书选题出版计划。1992年,应广大读者要求,中国物理学会和编委会决定出版该选读系列10册,以给物理界的广大朋友。

愿读者从中有所收益。

(姜淑华)

《物理学基础知识丛书》第二届编委会

主编: 马大猷 副主编: 吴家玮 汪容
编委: 王殖东 冯端 陆埃 杜东生
陈佳圭 赵凯华 赵静安 俞文海
潘楨铺 张元仲 姜淑华

《物理学基础知识丛书》连续系列

熵 3.70元;相变和临界现象 4.40元;
超导体 2.50元;从电子到夸克-粒子物理 2.50元
环境声学 2.70元;从法拉第到麦克斯韦 2.60元
物态 3.00元;从波动光学到信息光学 4.40元
晶体世界 4.00元;漫谈物理学和计算机 3.20元

他将这个想法写信告诉洛伦兹教授。洛伦兹指出,如果这个理论用得正确,就应该有下列结果:从增宽的谱线边缘发出的光,沿磁力线方向观察应是圆偏振光,再进而可导致求出离子所带电荷与其质量的比值 e/m 。塞曼用 $1/4$ 波片和检偏器,发现在磁场增宽的谱线边缘,从磁力线方向看去果然是圆偏振光。

相反,如果从与磁力线成直角的方向观察,增宽了的钠谱线的边缘显示出是平面偏振光,与洛伦兹的理论相符。

塞曼在发表的文章里,报导了他所用的仪器:“电磁铁是鲁姆科夫制造的,中等大小。磁化电流由蓄电池供给,平常多为27安,可达35安。光线用罗兰光栅分析,罗兰光栅的曲率半径为10英尺,每英寸14438条。最初光谱是用附有竖直叉丝的测微目镜观测的。”塞曼还根据谱线的增宽,估算了这一带电离子的荷质比 e/m 。

“钠谱线的增宽大约是双线距离的 $1/40$, 磁场强度大约是 10^4 CGS 单位。根据谱线的增宽,可以得到正负磁性变化为周期的 $1/40000$ ”。

将上述数据代入由洛伦兹理论推出的公式:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{e}{m} \cdot \frac{H \cdot T}{4\pi}$$

塞曼求出“离子”的荷质比 e/m 数量级是 10^{11} 库仑/千克。这一结果虽然粗略,但极为重要。此数值正好与 J.J. 汤姆生几个月以后从阴极射线得到的“载荷子”荷质比相等。在

J.J. 汤姆生报告“论阴极射线”时,塞曼的结果成了他的重要证据之一。原来塞曼和洛伦兹的“离子”正是 J.J. 汤姆生的“载荷子”! 就这样,塞曼的实验不但帮助了 J.J. 汤姆生发现电子,还帮助洛伦兹的电磁理论。洛伦兹的电磁理论后来叫做经典电子论,这个理论把电磁场和物质结构联系起来,是麦克斯韦电磁理论的进一步发展。

三、正常塞曼效应和反常塞曼效应

塞曼还根据洛伦兹理论的预计,在观测镉蓝线时,观察到了光谱线的分裂现象:垂直于磁场方向观察,谱线分裂成三根;平行于磁场方向观察,谱线分裂成二根,进一步证实了洛伦兹理论。但是,塞曼却没有注意到更多种类的光谱线磁场分裂并不遵守洛伦兹理论。例如:钠黄线 D_1 在磁场作用下沿垂直于磁场的方向分裂为4根, D_2 则分裂为6根;甚至有些谱线可分裂为9根、11根等等。经典理论无法解释这些现象,只有等到量子力学出现,特别是发现了电子自旋以后,才建立起完整的理论,得到了完善的解释。由于历史的原因,人们把符合经典理论的磁致分裂称为正常塞曼效应,不符合经典理论的称为反常塞曼效应。其实,正常塞曼效应只是反常塞曼效应中的一些特例。

塞曼效应对光谱学的研究也有重要意义。人们根据塞曼效应的观测结果,总结出了好些经验规律。这些规律为量子理论的发展,为探讨原子内部的结构,特别是电子自旋的发现提供了重要依据。